

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.76-79

УНИКАЛЬНАЯ БАЗА ДАННЫХ ТРАНЗИЕНТНЫХ ЯВЛЕНИЙ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ И МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЕ

А.А. Абунин¹, М.А. Абунина¹, А.В. Белов¹, С.П. Гайдаш¹, Е.А. Маурчев², И.И. Прямушкина³,
Л.А. Трефилова¹

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова,
г. Москва, Россия

²ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты, Россия

³Бугурусланский нефтяной колледж, г. Бугуруслан, Россия

Аннотация. Для всестороннего изучения Форбуш-эффектов и их связи с солнечными, межпланетными и геомагнитными возмущениями сотрудниками ИЗМИРАН была создана (и непрерывно пополняется) уникальная база данных транзиентных явлений в космических лучах и межпланетной среде. В ней вариации плотности и анизотропии космических лучей объединены с солнечными, межпланетными и геомагнитными параметрами. Космические лучи представлены результатами глобальной съёмки по данным всей мировой сети нейтронных мониторов (GSM) для жёсткости 10 ГВ, а информация по солнечному ветру взята из базы данных OMNI (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>). База данных включает в себя большое количество различных характеристик по ~7500 Форбуш-эффектам, охватывающих более чем полувековой период наблюдений (1957-2017 гг.). В представленной работе продемонстрированы некоторые из возможностей данного инструмента.

Введение

Одной из актуальных фундаментальных и прикладных задач солнечно-земной физики является заблаговременное прогнозирование параметров космической погоды и оценка ее влияния на различные природные, технологические и биологические системы, находящиеся как на Земле или в околоземном пространстве, так и в любой точке солнечной системы [1]. Само состояние космической погоды определяется, прежде всего, солнечной активностью. Именно Солнце отвечает за создание рекуррентных (от высокоскоростных потоков из корональных дыр) и спорадических (от корональных выбросов масс) возмущений межпланетной среды. Воздействию от таких возмущений наиболее подвержены объекты, находящиеся в околоземном космическом пространстве – там, где практически отсутствует (или отсутствует вовсе) атмосфера и ослаблено геомагнитное поле. Во время таких возмущений на космических объектах может наблюдаться ряд проблем, например: выход из строя радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата из-за накопления поверхностного и объемного заряда; одиночные сбои в радиоэлектронике космического аппарата из-за поражения высокоэнергичными частицами солнечного и галактического происхождения [2]; нарушения в работе оптических, магнитных и других датчиков, вызывающие отказ в выполнении заданных функций; ухудшение и потеря связи (на любых частотах); существенное увеличение погрешности систем GPS и ГЛОНАСС; изменение баллистических характеристик орбит из-за нагрева верхней атмосферы и повышения ее плотности и, как следствие, потеря высоты и нарушение ориентации, непредсказуемое сближение и возможность столкновения с другими космическими объектами и элементами космического мусора, возможность несанкционированного неуправляемого схода с орбиты; радиационное воздействие на космонавтов и т.д.

Более того, помимо космического сегмента, космическая погода влияет и на объекты земного базирования, например: ухудшение и потеря связи между наземными пунктами и управляемыми аппаратами космического комплекса [3]; поражение объектов наземной инфраструктуры при падении на Землю элементов космического мусора; появление наведенных токов в протяженных проводниках способных стать причиной аварий в электросетях, подводных кабелях, трубопроводах и в системах автоматики железных дорог [4]; радиационное воздействие на экипажи и пассажиров авиарейсов (особенно трансполярных); сбои в системах связи и аппаратуры авионики; ухудшение здоровья части населения, имеющего сердечно-сосудистую патологию и т.д.

Следует подчеркнуть, что всем отмеченным рискам и угрозам подвержены и системы военного назначения. А тенденции усиления зависимости жизнедеятельности человека от современных космических технологий, а также миниатюризация компьютерной техники ведут только к росту рисков от воздействия космической погоды.

Таким образом, очевидно, что влияние космической погоды на нашу повседневную жизнь нельзя недооценивать. Это воздействие необходимо уметь качественно прогнозировать, а затем учитывать, используя ранее полученный опыт.

По большому счету, прогнозирование состояния космической погоды сводится к прогнозированию солнечной и геомагнитной активности, а также потоков различных частиц (галактических и солнечных космических лучей, релятивистских электронов магнитосферного происхождения и т.д.). Модель прогнозирования того или иного параметра можно построить используя разные подходы. Например, можно получить результат теоретически, путем решения сложных систем уравнений, описывающих солнечную активность, перенос и трансформацию соответствующего возмущения в межпланетном пространстве и взаимодействие магнитных неоднородностей с магнитосферой Земли. Но такой путь является очень трудным и, зачастую, из-за сложности общей картины взаимодействий невыполнимым даже в самых простых случаях.

Другим, более простым путем является получение взаимосвязей между различными параметрами, характеризующими космическую погоду на основе статистического, сравнительного или регрессионного анализа. Причем, чем больше событий будет рассматриваться, тем более точно можно определить эти связи. Примеры как раз таких исследований, на основе анализа большого количества событий, будут рассматриваться далее.

Данные и методы

Для всестороннего изучения солнечных, межпланетных и геомагнитных возмущений сотрудниками ИЗМИРАН была создана и непрерывно пополняется уникальная база данных – база данных транзиентных явлений в космических лучах и межпланетной среде – *FEID (Database of Forbush-effects and interplanetary disturbances)* [5-8]. В ней вариации плотности и анизотропии галактических космических лучей объединены с солнечными, межпланетными и геомагнитными параметрами. Именно галактические космические лучи взяты за основу данного инструмента. Потоки этих ультраэнергичных частиц, принизывая межпланетное пространство, модулируются, интегрируя информацию о магнитных неоднородностях, через которых пролетают. В базе данных космические лучи представлены результатами глобальной съемки по данным всей мировой сети нейтронных мониторов для жесткости 10 ГВ. Информация по солнечному ветру взята из базы данных *OMNI* (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>), а данные по геомагнитной активности из *WDC Kyoto* (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp>) и *GFZ Potsdam* (<ftp://ftp.gfz-potsdam.de>).

На текущий момент *FEID* включает в себя более 7100 событий, охватывающих более чем полувековой период наблюдений (1957-2017 гг.), каждое из которых описывается более сотней параметров. Можно с уверенностью сказать, что это самая большая и полная база данных межпланетных возмущений в мире.

На основе описанной выше базы данных был разработан и выложен в сеть Интернет каталог с аналогичной информацией (<http://spaceweather.izmiran.ru/rus/dbs.html>). В научной среде можно найти множество публикаций и диссертаций, которые опираются на информацию о межпланетных возмущениях, взятую именно из этой базы данных.

Примеры использования информации из *FEID*

Описываемая выше база данных транзиентных явлений в космических лучах и межпланетной среде является не только банком хранения информации о межпланетных возмущениях, но и удобным инструментом для ее обработки, позволяя выполнять различного рода анализ этих данных (статистический, сравнительный, регрессионный и т.д.), выдавая запрашиваемую информацию в числовой и графических формах. Далее приведены несколько примеров использования *FEID*.

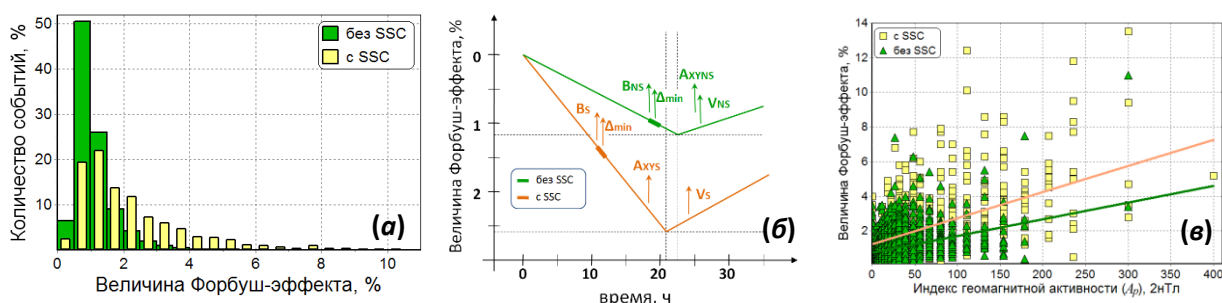


Рисунок 1. Распределения величин Форбуш-эффектов в группах событий с SSC и без SSC (а); схематическое изображение средних Форбуш-эффектов в группах S и N (б); зависимость величины Форбуш-эффектов от A_p индекса геомагнитной активности (в).

Исследование Форбуш-эффектов с внезапным и постепенным началами. В работе [9] все изолированные события (в анализе участвовало 3455 событий) были поделены на две группы: *S* – события, которые сопровождалось приходом ударной волны к Земле (с *SSC*) и *N* – которые не сопровождалось *SSC* (без *SSC*). В ходе анализа было выявлено, что эти группы отличаются друг от друга не только количественно, но и качественно (рис. 1а-в), например, по структуре самого возмущения. Кроме того, в *S*-группе оказались, в среднем, более мощные события.

Полученные результаты говорят в пользу того, что в выделенных группах преобладают разные механизмы модуляции космических лучей. События *S*-группы в большей мере обусловлены выбросами солнечного вещества, в то время как значительная часть событий группы *N* – высокоскоростными потоками плазмы из корональных дыр.

Связь параметров возмущений с гелиодолготой солнечного источника. В работе [10] было проанализировано 334 события из базы данных *FEID*, уверенно отождествленных с соответствующим солнечным источником. Все события были поделены на пять секторов.

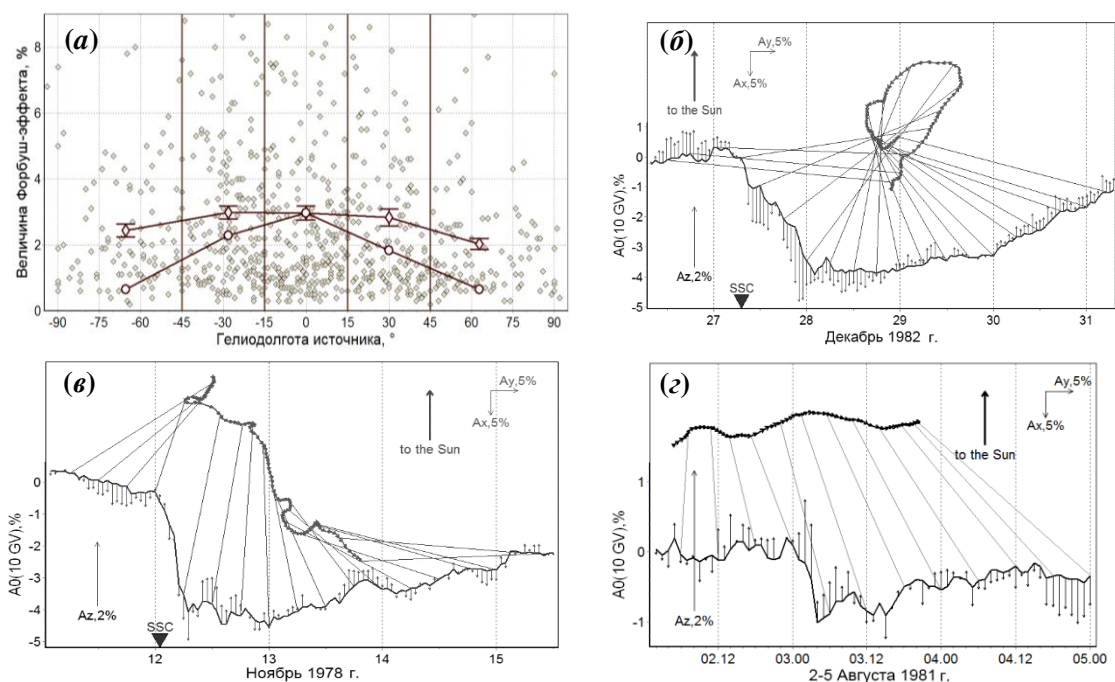


Рисунок 2. Зависимость величины Форбуш-эффекта от гелиодолготы солнечного источника (а); поведение плотности и векторной (суточной) анизотропии космических лучей во время Форбуш-эффекта, обусловленного: восточным источником (б), источником из области центральных гелиодолгот (в), источником из западной группы (з).

В ходе анализа было показано, что эффективность создания Форбуш-эффектов и геомагнитных бурь у источников с различной гелиодолготой различна (рис. 2а). Кроме того, было установлено, что, в зависимости от гелиодолготы источника возмущения межпланетной среды, поведение анизотропии галактических космических лучей существенно отличается (рис. 2б-з). Таким образом, имея информацию только о галактических космических лучах и умея её правильно расшифровывать, можно определить множество параметров межпланетного возмущения.

Заключение

Анализ большого количества событий, позволяет получать статистические зависимости между различными параметрами, характеризующими состояние космической погоды. Это, в свою очередь, позволяет с определенной долей вероятности оценивать влияние космической погоды на объекты космического и наземного базирования. Созданная сотрудниками ИЗМИРАН база данных транзиентных явлений в космических лучах и межпланетной среде не является единственной разработкой данной группы ученых. Существует еще ряд баз данных, которые охватывают большой временной интервал и содержат множество параметров: геомагнитных возмущений (1868-2018 гг., 103 параметра), солнечной активности (1975-2018 гг., 64 параметра), вариаций космических лучей (1957-2018 гг., 45 параметров), корональных выбросов масс (1996-2018 гг., 25 параметров), корональных дыр и т.д.

Используя эти базы данных получены статистические закономерности, которые входят в основу разработанных моделей для реализации краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных прогнозов по каждому из направлений космической погоды. Непрерывное пополнение свежей информацией и своевременный перерасчет зависимостей между параметрами позволяет всегда держать базы и модели в актуальном состоянии. А сам результат такого анализа используется в ежедневной работе Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН для обеспечения своих потребителей необходимой информацией уже 20 лет (с 1998 года).

Благодарности. Работа выполнена с использованием оборудования УНУ «Сеть СКЛ». Работа частично поддержана в рамках гранта РФФИ №17-02-00508. Мы также признательны всем сотрудникам сети станций космических лучей <http://cr0.izmiran.ru/ThankYou>.

Литература

1. *Gaidash S.P., Belov A.V., Abunina M.A., Abunin A.A.* Space Weather Forecasting at IZMIRAN // *Geomagnetism and Aeronomy*. – 2017. – V.57. – №7. – P. 869-876.
2. *Белов А.В., Вилорези Дж., Дорман Л.И., Ерошенко Е.А., Левитин А.Е., Паризи М., Птицына Н.Г., Тясто М.И., Чижиков В.А., Ючиш Н., Янке В.Г.* Влияние космической среды на функционирование искусственных спутников Земли // *Геомагнетизм и аэрномия*. – 2004. – Т.44. – №4. – С. 502-510.
3. *Зеленый Л. М., А. А. Петрукович.* Арктика. Космическая погода // *Природа*. – 2015. – №9. – С.31-39.
4. *Eroshenko E., Belov A., Boteler D., Gaidash S., Lobkov S., Pirjola R., Trichtchenko L.* Effects of strong geomagnetic storms on Northern railways in Russia // *Advances in Space Research*. – 2010. – V.46. – №9. – P. 1102-1110.
5. *Belov A.V., Eroshenko E.A., Yanke V.G.* Modulation Effects in 1991-1992 Years // *Proc. 25th Int. Cosmic Ray Conf., Durban*. – 1997. – V.1. – P. 437-440.
6. *Belov A.V., Eroshenko E.A., Yanke V.G.* Global and local indices of cosmic ray activity // *Proc. 26th Int. Cosmic Ray Conf., Salt Lake City*. – 1999. – V. 6. – P. 472-475.
7. *Абунин А.А.* Характеристики Форбуш-эффектов и их связь с солнечными, межпланетными и геомагнитными возмущениями: диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук: 01.03.03 / Абунин Артем Анатольевич. – Москва. – 2014. – 155 с.
8. *Belov A., Abunin A., Eroshenko E., Abunina M., Oleneva V., Yanke V.* Database on the Forbush-effects and interplanetary disturbances to study Earth-affecting solar transients // *VarSITI Newsletter*. – 2017. – V.14. – P. 8-10.
9. *Абунин А.А., Абунина М.А., Белов А.В., Ерошенко Е.А., Оленева В.А., Янке В.Г.* Форбуш-эффекты с внезапным и постепенным началом // *Геомагнетизм и Аэрномия*. – 2012. – Т.52. – №3. – С. 313-320.
10. *Абунина М.А., Абунин А.А., Белов А.В., Ерошенко Е.А., Асипенка А.С., Оленева В.А., Янке В.Г.* Связь параметров форбуш-эффектов с гелиодолготой солнечных источников // *Геомагнетизм и Аэрномия*. – 2013. – Т.53. – №1. – С. 13-22.